

# **DIAGNOSA KERUSAKAN BANTALAN BOLA MENGUNAKAN METODE SUPPORT VECTOR MACHINE**

**SKRIPSI**

Diajukan sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik



Oleh:

MUHAMMAD FATHURROHMAN  
NIM. I0411032

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
2017**



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET - FAKULTAS TEKNIK  
**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

Jl Ir Sutami No. 36A Ketingan Surakarta Telp. 0271 632163 web: mesin.ft.uns.ac.id

**SURAT TUGAS PEMBIMBING DAN PENGUJI TUGAS AKHIR  
PROGRAM SARJANA TEKNIK MESIN UNS**

Program Studi : **S1 Teknik Mesin**

Nomor : **0673/TA/S1/12/2015**

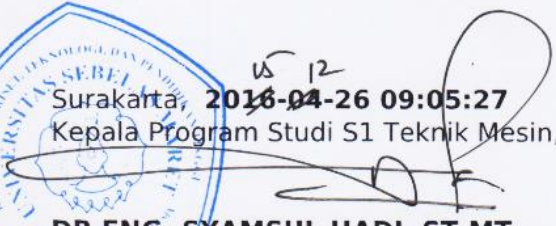
Nama : **MUHAMMAD FATHURROHMAN**  
NIM : **10411032**  
Bidang : **Desain**  
Pembimbing 1 : **R. LULUS LAMBANG, ST,MT/197207052000121001**  
Pembimbing 2 : **DIDIK DJOKO SUSILO, ST,MT/197203131997021001**  
  
Penguji : **1. PURWADI JOKO WIDODO, ST, M. KOM/197301261997021001**  
**2. WIBOWO, ST,MT/ 196904251998021001**  
**3. DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT/ 197003231998021001**

Mata Kuliah Pendukung

- 1. PERAWATAN PREDIKTIF(MS83063)**
- 2. TEKNOLOGI DAN PROSES PERMESINAN(MS73033-15)**
- 3. ()**

Judul Tugas Akhir

**"DIAGNOSA KERUSAKAN BANTALAN BOLA  
MENGUNAKAN METODE SUPPORT VECTOR MACHINE"**

Surakarta, <sup>15</sup>2016-04-26 09:05:27  
Kepala Program Studi S1 Teknik Mesin,  
  
**DR. ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT**  
NIP. **197106151998021002**

Tembusan :

1. Mahasiswa ybs.
2. Dosen Pembimbing TA ybs.
3. Koordinator TA.
4. Arsip.

## **DIAGNOSA KERUSAKAN BANTALAN BOLA MENGGUNAKAN METODE SUPPORT VECTOR MACHINE**

Disusun Oleh

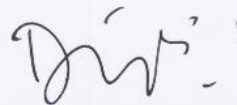
**MUHAMMAD FATHURROHMAN**  
NIM : **10411032**

Dosen Pembimbing 1



**R. LULUS LAMBANG, ST,MT**  
NIP. **197207052000121001**

Dosen Pembimbing 2



**DIDIK DJOKO SUSILO, ST,MT**  
NIP. **197203131997021001**

Telah dipertahankan di depan Tim Dosen Penguji pada tanggal **13-03-2017**, pukul **10:00:00**, bertempat di **M.101, Gd.1 FT-UNS**.

1. PURWADI JOKO WIDODO, ST, M. KOM  
197301261997021001
2. WIBOWO, ST,MT  
196904251998021001
3. DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT  
197003231998021001



**DR. ENG. SYAMSUL HADI, ST,MT**  
NIP. **197106151998021002**

Koordinator Tugas Akhir



**DR. NURUL MUHAYAT, ST,MT**  
NIP. **197003231998021001**

# DIAGNOSA KERUSAKAN BANTALAN BOLA MENGGUNAKAN METODE SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM)

Muhammad Fathurrohman  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta,  
Indonesia  
[fathurrohman@student.uns.ac.id](mailto:fathurrohman@student.uns.ac.id)

## ABSTRAK

Bantalan merupakan komponen penting pada mesin rotasi. Kegagalan yang terjadi secara tiba-tiba pada bantalan dapat berakibat fatal dan berbahaya ketika mesin beroperasi. Oleh karena itu, metode sistem perawatan berbasis kondisi mesin sangat diperlukan pada pemantauan kondisi bantalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode *Support Vector Machine* (SVM) pada diagnosis kerusakan bantalan bola. Penelitian dilakukan pada rig uji bantalan dengan empat variasi kondisi bantalan bola, yaitu: cacat lintasan dalam, cacat pada bola, cacat lintasan luar, serta bantalan normal. Data sinyal didapatkan dari pengukuran sinyal getaran dengan frekuensi *sampling* 20kHz pada putaran konstan 1400 rpm. Ekstraksi fitur dilakukan pada sinyal getaran domain waktu menggunakan beberapa fitur statistik, yaitu: RMS, *variance*, standar deviasi, *crest factor*, *shape factor*, *skewness*, dan *kurtosis*, serta fitur *log energy entropy* dan *sure entropy*. Transformasi PCA diterapkan untuk mereduksi data hasil ekstraksi fitur. Klasifikasi SVM diselesaikan menggunakan perangkat lunak MATLAB 2016a dengan penyelesaian *multiclass* SVM menggunakan metode *One-Against-One* (OAO). Hasil pembelajaran SVM menunjukkan penerapan fungsi kernel RBF dengan nilai parameter  $C=1$  merupakan konfigurasi terbaik. Pada akurasi model pelatihan didapatkan 98,93% dan akurasi pengujian model SVM diperoleh 97,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode klasifikasi SVM mampu digunakan untuk diagnosis kerusakan pada bantalan bola.

**Kata kunci:** diagnosis kerusakan, ekstraksi fitur, *Principal Component Analysis* (PCA), *Support Vector Machine* (SVM), bantalan bola

# **BALL BEARING FAULT DIAGNOSIS USING SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM) METHOD**

Muhammad Fathurrohman

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Sebelas Maret  
University, Surakarta, Indonesia  
[fathurrohman@student.uns.ac.id](mailto:fathurrohman@student.uns.ac.id)

## **ABSTRACT**

Bearings are the critical part of any rotating machine. The catastrophic failure of the bearing can lead to fatal and harmful to the operation of the machine. Therefore, predictive maintenance based on condition monitoring of bearing is very important. The objective of this research is to apply Support Vector Machine (SVM) method for fault diagnosis of the ball bearing. The research was carried out at the bearing test rig. Four types of ball bearing condition, such as normal, inner race defect, ball defect, and outer race defect were measured of the vibration signals using data acquisition with a sampling frequency of 20 kHz at the constant speed of 1400 RPM. Various features were extracted from vibration signals in time domain, such as RMS, variance, standard deviation, crest factor, shape factor, skewness, kurtosis, log energy entropy and sure entropy. PCA transformation was employed to reduce the dimension of feature extracted data. SVM classification problems were solved using MATLAB 2016a. The results showed that the application of RBF kernel function with the C parameter =1 was the best configuration. The training model accuracy was 98.93% and the testing accuracy of SVM was 97.5%. Finally, the research results show that the SVM classification method can be used to diagnose the fault condition of the ball bearing.

**Keywords:** *fault diagnosis, feature extraction, Principal Component Analysis (PCA), Support Vector Machine (SVM), ball bearing*

## KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat, hidayah, dan karunia-Nya penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Dalam pengerjaan skripsi ini tidak mungkin dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Allah SWT atas segala kuasa, rahmat, karunia, dan hidayah-Nya.
2. Ayah dan ibu tercinta yang selalu memberi dukungan dengan segala doa, daya dan upayanya kepada penulis.
3. Bapak R. Lullus Lambang G.H., ST, MT selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan dukungan dan arahan dalam mengerjakan penelitian dan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Didik Djoko Susilo, ST, MT selaku dosen pembimbing II yang turut serta memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak Purwadi Joko Widodo, ST, M. Kom, Bapak Wibowo, ST, MT, dan Bapak Dr. Nurul Muhyat, ST, MT selaku dosen penguji, atas segala masukan, kritik, dan saran yang membangun kepada penulis.
6. Tim tugas akhir getaran yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan skripsi.
7. Rekan-rekan Teknik Mesin khususnya angkatan 2011 yang telah kebersamai dalam menyelesaikan skripsi ini.

Serta seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung yang telah memberikan bantuan dan dukungannya dalam pembuatan laporan ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun, guna perbaikan dan penyempurnaan skripsi di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga laporan skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua umumnya dan bagi penulis pada khususnya. Amin.

Surakarta, 30 Januari 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	ix
DAFTAR RUMUS .....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang Masalah .....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
BAB 2 DASAR TEORI .....	5
2.1. Tinjauan Pustaka .....	5
2.2. Dasar Sinyal Getaran .....	7
2.2.1. Karakteristik Getaran .....	7
2.2.2. Sinyal Domain Waktu .....	8
2.2.3. Sinyal Domain Frekuensi .....	9
2.3. Ekstraksi Fitur .....	10
2.4. <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) .....	12
2.5. Support Vector Machine .....	14
2.5.1. Konsep Dasar <i>Support Vector Machine</i> .....	14
2.5.2. Fungsi Kernel dan Klasifikasi non-Linear SVM .....	18
2.5.3. <i>Multi-Class SVM</i> .....	16
2.6. Bantalan Bola ( <i>Ball Bearing</i> ) .....	21
2.7. Pengukuran Getaran .....	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	24
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	24
3.2. Alat dan Bahan .....	26
3.3. Tahapan Pelaksanaan Penelitian .....	30
BAB 4 PEMBAHASAN .....	34
4.1. Data Penelitian .....	34
4.2. Analisis Data .....	36
4.2.1. Ekstraksi Fitur .....	36
4.2.2. <i>Principal Component Analysis</i> (PCA) .....	39
4.3. Klasifikasi SVM .....	40
4.3.1. Fitur Input SVM .....	41
4.3.2. Penentuan Fungsi Kernel .....	42
4.3.3. Penentuan Parameter <i>C</i> ( <i>error penalty</i> ) .....	45
BAB 5 PENUTUP .....	51
5.1. Kesimpulan .....	51
5.2. Saran .....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	52



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Getaran Periodik Sistem.....	8
Gambar 2.2 Simpangan Rotor terhadap Waktu .....	8
Gambar 2.3 Sinyal dengan dua komponen sinusoidal .....	9
Gambar 2.4 Sinyal Domain Frekuensi .....	9
Gambar 2.5 Penentuan <i>Hyperplane</i> .....	15
Gambar 2.6 <i>Soft Margin Hyperplane</i> .....	16
Gambar 2.7 Transformasi dari <i>vector input</i> ke <i>feature space</i> .....	19
Gambar 2.8 Elemen Bantalan Gelinding .....	21
Gambar 2.9 Ilustrasi Sinyal Domain Waktu Bantalan Cacat .....	22
Gambar 2.10 Pemasangan Sensor pada Rumah Bantalan.....	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	25
Gambar 3.2 Rig uji Bantalan.....	26
Gambar 3.3 Bantalan bola pengujian: (a) Normal; (b) Cacat lintasan dalam; (c) Cacat pada bola; (d) Cacat lintasan luar .....	27
Gambar 3.4 Perangkat Perekam Data Sinyal .....	27
Gambar 3.5 Sensor <i>Accelerometer</i> .....	28
Gambar 3.6 <i>Dial Indicator</i> .....	29
Gambar 3.7 <i>Inverter</i> .....	29
Gambar 3.8 Skema Rangkaian Alat .....	31
Gambar 4.1 Sinyal Getaran Bantalan Normal.....	34
Gambar 4.2 Sinyal Getaran Bantalan dengan Cacat Ø1 mm .....	35
Gambar 4.3 Sinyal Getaran Bantalan dengan Cacat Ø1,5 mm .....	36
Gambar 4.4 Grafik persentase nilai varians <i>Principal Component</i> .....	39
Gambar 4.5 <i>Scatter Diagram</i> PC 1 dan PC 2 Transformasi Fitur PCA .....	40
Gambar 4.6 Perbandingan Plot Model Klasifikasi SVM .....	44
Gambar 4.7 Plot Model Pelatihan SVM .....	47
Gambar 4.8 Diagram <i>Confussion Matrix</i> .....	48
Gambar 4.9 Plot Pengujian Model Klasifikasi SVM .....	49
Gambar 4.10 Diagram <i>Confussion Matrix</i> .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Frekuensi Karakteristik Bantalan Bola .....	22
Tabel 4.1 Data Ekstraksi Fitur Bantalan Normal .....	37
Tabel 4.2 Data Ekstraksi Fitur Bantalan Cacat Lintasan Dalam Ø1 mm.....	37
Tabel 4.3 Data Ekstraksi Fitur Bantalan Cacat pada Bola Ø1 mm.....	37
Tabel 4.4 Data Ekstraksi Fitur Bantalan Cacat Lintasan Luar Ø1 mm.....	38
Tabel 4.5 Data Ekstraksi Fitur Bantalan Cacat Lintasan Dalam Ø1,5 mm.....	38
Tabel 4.6 Data Ekstraksi Fitur Bantalan Cacat pada Bola Ø1,5 mm.....	38
Tabel 4.7 Data Ekstraksi Fitur Bantalan Cacat Lintasan Luar Ø1,5 mm.....	39
Tabel 4.8 Data <i>Training</i> Fitur Input SVM .....	41
Tabel 4.9 Perbandingan hasil penerapan fungsi kernel pada SVM .....	42
Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Pengaturan Parameter C .....	46

## DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1. <i>Root Mean Square</i> (RMS) .....	11
Rumus 2.2. Standar Deviasi .....	11
Rumus 2.3. <i>Variance</i> .....	11
Rumus 2.4. <i>Crest-Factor</i> .....	11
Rumus 2.5. <i>Shape-Factor</i> .....	11
Rumus 2.6. <i>Mean</i> .....	11
Rumus 2.7. <i>Kurtosis</i> .....	12
Rumus 2.8. <i>Skewness</i> .....	12
Rumus 2.9. <i>Log energy entropy</i> .....	12
Rumus 2.10. <i>Sure entropy</i> .....	12
Rumus 2.11. Persamaan <i>eigen</i> .....	13
Rumus 2.12. Persamaan bidang pembatas .....	15
Rumus 2.13. Pertidaksamaan bidang pembatas .....	16
Rumus 2.14. Rumus optimasi konstrain <i>hyperplane</i> .....	16
Rumus 2.15. Persamaan bidang pembatas dengan variabel <i>slack</i> .....	16
Rumus 2.16. Rumus optimasi konstrain <i>hyperplane</i> dengan variabel <i>slack</i> .....	17
Rumus 2.17. Rumus optimasi konstrain bentuk formula <i>lagrange primal problem</i> .....	17
Rumus 2.18. Persamaan variabel <i>lagrange</i> .....	17
Rumus 2.19. Rumus optimasi konstrain bentuk formula <i>lagrange dual problem</i>	17
Rumus 2.20. Fungsi keputusan <i>hyperplane</i> .....	18
Rumus 2.21. Fungsi keputusan <i>hyperplane</i> menggunakan transformasi <i>feature space</i> .....	19
Rumus 2.22. Fungsi keputusan <i>hyperplane</i> menggunakan fungsi kernel.....	19
Rumus 2.23. Kernel linear .....	20
Rumus 2.24. Kernel Polinomial .....	20
Rumus 2.25. Kernel <i>Radial Basis Function</i> (RBF) .....	20

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Sinyal Getaran Bantalan Bola Hasil Rekaman Dewesoft® .....	54
Lampiran 2. Program MATLAB Klasifikasi Kerusakan Bantalan Bola menggunakan SVM .....	55
Lampiran 3. Sub-Program Ekstraksi Fitur .....	63
Lampiran 4. Data Ekstraksi Ciri Sinyal Getaran.....	65
Lampiran 5. Data Fitur Hasil Reduksi PCA.....	75